TTL ICを用いたパルスロジック動作に関する実験実習マニュアルの開発

斎藤弘道*・前多修二**

（受理：1997年11月30日）

Development of Physics Experiment Theme and its Manual on Pulse Logic Workings by TTL IC

Kōdō SAITŌ and Shuji MAEDA

摘　　要

物理学の基礎実験において，デジタル信号の要素であるパルス信号による論理のハード的側面，及びこれを支える物理現象との関係を理解させるための実験テーマを，パルス波形のもつ電圧（電位）2値信号に基づき，典型的なロジックシーケンスであるNAND ICを用いて開発を試みた。同時に，実験実習を，コンピュータ端末上のブラウザを通じて，実行・報告させるようにした。

キーワード　：　物理学実験，パルスロジック，NAND IC，ブラウザ

1．目　　的

近年の通信技術の発達には著しいものがある。文字データを初めとして，音や画像その他の様々なメディアの表現量が，アナログ量からデジタルの電気信号へと変換され，インターネットなどの回線網を駆け巡っている。そしてその背後では，大量の電気信号が瞬時のうちに生成され，変換され，伝達され，解釈されている。現代の社会の情報通信がこのようなデジタルシステムに依存して成り立つようになってきており，大学においてもコンピュータリテラシー教育・情報リテラシー教育が強く要請されるようになった。このような状況において，デジタル信号の要素であるパルス信号による論理のハード的側面，及びこれを支える物理現象との関係について，初年次の学生に観察・体験させておくことは重要な課題であると考えた。

そこで，デジタルの考え方の基本にあるパルス電圧（電位）2値信号に基づき，典型的なロジックシーケンスであるNAND ICの動作を確認する実験テーマの開発を試みた。最近の情報機器はICとして小型で電流の少ないMOS型が用いられているが，物理実験として動作を観察しやすいものにするため，TTL（Transister－Transister Logic）ICを使用した。

ロジックシーケンスにおいては，論理素子の中身の動作まで読み取る必要はなく，ブラックボックス

**帯広畜産大学畜産環境科学科
Department of Agro-environment, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine
*無線技術士・元帯広大谷短大非常勤講師（情報処理論担当）

とみて，単に入力，出力の関係を論理的に「H」レベルか，「L」レベルかを追っていくことにより，制御動作を読み取ることができる。実際にデジタル IC を用いて，デジタル回路を構成する場合には，AND 回路，OR 回路などの基本論理回路を用いる場合は少なく，NAND 回路または NOR 回路だけを用いて回路を構成することが多い。これは，NAND 回路だけ，または NOR 回路だけによって，AND 回路，OR 回路，NOT 回路と他のすべての論理を構成することができるからである。現在，デジタル IC は NAND 回路を中心に構成，販売されている。

このような実験実習には以下の要素が必要となる。

a．AND 論理の確認

NAND 論理の理解の前提にある，AND 論理について，確認させる。

b．測定機器への導入

c．測定機器の配線

2値信号の考え方から，「L」の定義となるグラウンドラインの配線を重要視させる。

d．電圧による NAND IC 作動の確認

デジタルの考え方の基本はパルス電圧（電位）2値信号（ある，ない）であることを確認させるため，まずテスターによって直接的に電圧測定をさせる。

e．パルス信号の変換とオシロスコープによる確認

通信技術への導入として，様々なパルスのシーケンスがどのように作り出されるかを確認させる。

2．方　　法

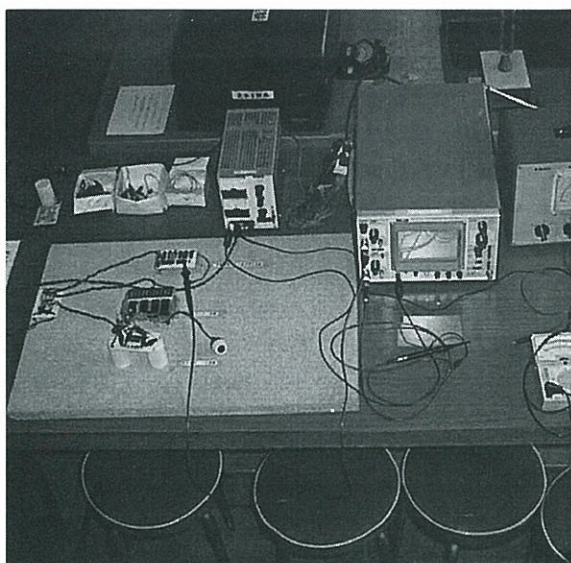
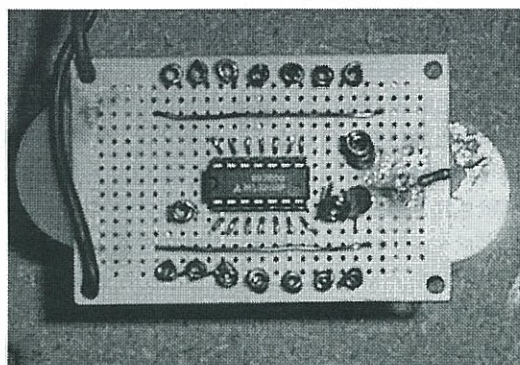
以上の目的のため，41ページ以降のような実験手引書（マニュアル）にもとづいて，以下のような実験の流れを設定した。図1に実験の全体図を示す。

①電源関係の配線　　　　〈マニュアル1P〉

ここでは実験機器を電気的に連結するときの，失敗のない手順を把握させる。まず電源装置の装備を知る必要がある。使用したパワーハウスでは，調整可能範囲を示す電圧計と電流計及びそれぞれのコントローラが取り付けてある。

電気機器には定格の電源電圧を供給しなければならない。不用意に電気機器を連結し過大な電圧を供給して，機器を焼損させてはならない。無負荷で電圧を調整し，負荷を連結してからも，定格電圧を維持しているかチェックする必要がある。煩瑣を避けるために省略したが，電流制限回路の取り付けてある本パワーハウスでは，電流制限値を大きめにするように，コントローラを再セットしたりしなければならない。

図1

図2

②グランドラインの総合結線　〈マニュアル２Ｐ〉

各種基板や測定器などの電気機器は，電源電圧を供給しないと作動態勢に入らない。またその電気機器固有の目的を果たさせるためには，電気信号を投入しなければならない。電気信号の投入と安定な信号処理のためには，電気機器ではグランドレベルを決める。供給される電源が正電源なら－側，負電源なら＋側をグラウンドレベルにする。

信号がいくつもの電気機器の間を往来することがあるので，相互のグランドレベルを，コードで最初に結線しておくことが大切である。

③ TTL IC の作動を確かめる計器の導入　〈マニュアル３Ｐ〉

TTL IC の作動といっても，IC 毎に全体的な作動目的は異なる。デジタル IC で扱うデジタル信号はすべてパルスで，時間とともに変化する時系列の性格をもっているが，瞬間的には IC のある出力端子は，電位（電圧）が高いか（H）低いか（L）の二通りだけである。まずそれを観察・測定するための機器を用いればよい。

Ａ．テスター

２値信号の仕組みを観察するには，テスターによる電圧測定が最も直接的で分かり易い。IC の端子の電圧を測ればよい。TTL IC では，電源供給定格電圧が５Ｖだから，MAX10V 前後の DC 電圧計にしてＨ，Ｌを判定すればよい。

Ｂ．２現象オシロスコープ

オシロスコープは時間軸を持った瞬時の電位(圧)測定器である。信号波形は時間とともに変化する。実際にデータ通信が行われる場合，信号の連なりが電送される。この意味で，オシロスコープにパルスシーケンスを表示させて洞察することは重要である。また，パルスシーケンスが NAND IC によっていかに変換されるかの観察にも用いる。

④ TTL IC への電源供給　〈マニュアル４Ｐ〉

まず IC 基板に電源が供給されていること，そして目的の IC に電源電圧が供給されていることを確認させる。この二つは同じことではない。基板のパターン配線には接触・切断ミスのあることも考えられる。IC の電源ピンのところで電源をチェックすることが大切である。

⑤ Ｈ，Ｌロジックの認識　〈マニュアル５～７Ｐ〉

図２のように TTL IC に螺旋型の端子を取り付けて，配線を行いやすくした実験ボードを作成した。即ち，HS 螺旋端子は「H」，LS 螺旋端子は「L」信号源のモデル出力である。テスターで実測することで，H・L の認識基準が把握できる。TTL IC の内部には４つの NAND IC が含まれているので全部で12本他に電源用２本の端子が出ている。実験ではこのうちの１つの NAND IC の部分を使う。ピン番号１，２が入力，３が出力となっている。

Ａ．NAND IC の入力，出力ピンのＨ，Ｌ判定

まず，ピン番号１，２が何もつないでない開放状態で，ピン番号３の電位をテスターで測定させる。この場合，IC 内回路構成から，ピン番号１，２はＨの電位，ピン番号３はほぼ完全に０であるＬの電位となっている。

Ｂ．NAND 回路のＨ，Ｌ動作の観察

ピン番号１及び２をＨまたはＬにしたとき，ピン番号３の出力がＨになるか，Ｌになるかを実測させ，表にまとめさせる。一方，別の表で，AND の論理表を作らせることで，実習者が既に身に付けているであろう AND の論理を明確に確認させておく。これとの比較において，NAND の論理を把握させる。

⑥２現象オシロスコープへの導入と方形波(パルス)の観察　〈マニュアル８～12Ｐ〉

静電偏向方式の２現象オシロスコープを用いる。時間変化のある電気信号の比較観察には，このような２現象型オシロスコープは極めて有効であり，自然科学に携わる人はその操作に習熟してもらいたいものである。ディスプレイを上下２チャンネルに分けて使う方法を体得させる。

水晶基準パルス信号発生基板の100Hz 信号端子から，1ch のプローブに繋ぎ，水平掃引線操作，時間軸選択スイッチの操作などを確認しながら，ディスプレイ上半に10個のパルス波形を表示させる。また，低周波発振器から 2ch に入力して，他のサインカーブ波形などを表示させる。周波数と表示されるパルスの個数との関係を確認させる。

⑦ NAND 回路によるパルス加工の観察　〈マニュアル13～15Ｐ〉

NAND 回路の２つの入力ピンに周波数の異なる方形波を入力し，NAND 回路からの出力をオシロスコープ下半の 2ch に表示させ，パルス加工を体験する

ことができる。具体的には，以下の３つを取り上げれば十分と思われる。

Ａ．パルスを通さないカット回路

Ｂ．パルス波形を逆転させるインバータ回路

Ｃ．ある時間幅だけパルスを通すゲート回路

それぞれの場合について，２つの入力波形と１つの出力波形を方眼紙に並べて描かせ，各瞬間におけるNAND論理による変換の動作を推測・理解させる。

３．ブラウザによる実験手引き書

多くの実験テーマが複数の実習チームにより同時に行われる場合，教官のすばやい対応が難しく，実験手引書（マニュアル）などによって学生が自主的に実験の内容を理解し，セットアップなどを行うことになる。実験のセットアップと実行を正確に確認するには，場面ごとの写真が用意されることが望ましく，このため大量の写真が必要になるが，紙の手引書ではなくコンピュータ内の画像データとして，これらを保存し，ブラウザからアクセスする方式が有効となる。

また，一般に測定値のグラフ化，計算などをコンピュータに行わせる場合，測定値を表計算ソフトなどに入力する必要がある。そこで，実験手引書（マニュアル）の中にレポート提出フォームを埋め込み，ここに入力された数値を，同じコンピュータ上の表計算ソフトへの入力として用いる方法が考えられる。このようにして，実験の理解，進行，結果処理，レポート提出が統一的に行える。レポート提出フォームのフィードバックファイルには日付や時刻が取得できるので，実験の時間的進行の様子を把握することができる。

HTML文書作成にはMicrosoft社のFrontPageを，実験のスナップ写真作成にはデジタルカメラ（キャノン製Powershot）を用いている。

４．ま と め

初歩的なハードとソフトとの関係を承知していることは，デジタル表示器やコンピュータがいろいろな場所で数多く使われている今日，物理的な基礎知識として大変重要なことである。

コンピュータは歯車式器械計算機の伝統を受け継いでおり，ソフトを構成する基本には桁上げするときのようなシフト操作が，論理作動の中身として欠かせない存在になっている。

NAND ICは，そのような基本作動をするものとして，市販されている。これを物理的・具体的に使ってみることで得られる知識は，観測するためのテスター・オシロスコープなどの機器の操作法のほか，複雑な配線の組織的に秩序だった結線経験をとおして，電源供給配線の意味合い理解のほか，情報を選択的に通過・コントロールしていく論理的テクニックの実際を知ることができる。

現実には学習経過との関連不足が大きくて，混乱することも目立った。実験内容に親近性が不足していたためである。

日常における論理生活の展開と，研究蓄積に不可欠なオリジナル／センサー回路の工夫・工作などのハード的な体験の蓄積が大切であることを知る意味合いは大きい。

参 考 文 献

・最新74シリーズIC規格表　CQ出版社

・デジタルカウンターの作り方・使い方　石橋浩司・佐藤一郎共著　オーム社

・シンクロスコープSS—5703取扱説明書　岩崎通信機株式会社

・BX—85TR MUTITESTER取扱説明書　三和電気計器株式会社

Sammary

A subject of practical physics experiment and its manual are developed which help students to understand the pulse signals and their logic employed in the digital technologies. The emphasis is put on the 2-value aspect of the signals. The NAND IC is used. Also, a set of HTML documents are developed which are accessed by browsers and works as manual with many pictures and as a report sheet.

Key words: practical experiment of physics, pulse logic, HAND IC, browser

NAND IC
理解のためのマニュアル
TTL IC 使用

今日マルチメディアと称して、音や画像のみならず様々な人間の感覚量までが、アナログの電気信号からデジタルの電気信号へと変換されて、インターネットを始めとするいろいろな回線網のなかを駆けめぐり、多チャンネルのデジタルTVまでが現実の問題になりつつある。

このような時期にあたり、デジタル信号の要素であるパルス信号による論理のハード的側面を観察・体験しておくことは、物理学習やコンピュータ操作習熟のことも含めて、極めて有意義・大切である。

帯広畜産大学物理学研究室

ＴＴＬ　ＩＣによる
パルスロジック動作の観察

Ｉ．ＮＡＮＤ　ＩＣとは

準備1　　電源関係の配線

０．パワーハウスの出力ターミナル（赤＋・白－）に、実験ボードの電源コードなどが繋がれていないことを確かめる。
１．パワーハウスの電源スイッチをＯＮにする。
２．パワーハウスのＶＯＬＴＡＧＥつまみをまわして、パワーハウスが供給する電源電圧を付属電圧計を見ながら、５Ｖになるように調節する。
３．実験ボードの電源用コードを、パワーハウスの端子に連結する。赤コードは赤＋端子へ、黒コードは白－端子へ繋なぐ。
４．３．の段階でパワーハウスの電源電圧計が５Ｖ以下に下がっているようであれば、再度つまみを回して５Ｖに調整する。この時必要なら電流制御ツマミも調整する。

準備2　　グランドラインの総合結線

０．各種基板や測定器に信号を送ったり、もらったりするときに、グランドラインを最初に結線しておくことが大切である。
１．パワーハウスの白－端子を、信号の－即ちグランドラインに見立てる。基板への電源の黒－端子として配線済みであるから、これをグランドラインと考えてよい。
２．パワーハウスの白－端子　（グランド端子）とオッシロスコープのグランド端子を、黒クリップコードでつなぐ。
３．低周波発信器のＯＵＴＰＵＴ（出力）端子の下側のグランド端子と、２．の端子を黒クリップコードでつなぐ。

準備3　ＴＴＬ　ＩＣの作動を確かめる計器

ＴＴＬ　ＩＣの作動といっても、ＩＣごとに全体的な作動目的は異なる。生成されるデジタル信号は時間とともに変化する時系列の性格をもっているが、瞬間的にはＩＣのある出力端子は電位（電圧）が高いか（Ｈ）低いか（Ｌ）の二通りだけである。まずはそれを観察・測定するための準備を説明する。

Ａ．テスターの準備

テスターには電位（電圧）と電流と抵抗を測定する三つ機能があり、パネル中央のメインスイッチを切り替えて、使いわける。

ＩＣの出力の電位のＨか　Ｌか　を観察すればよいのだから、メインスイッチを直流電圧計（DC-12V）の位置にセットする。リード棒は赤を＋、黒を－(COM)に挿入する。

Ｂ．２現象オッシロスコープ

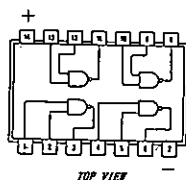
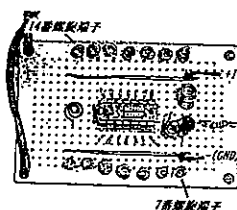
信号波形は時間とともに変化する。

オッシロスコープは時間軸を持った瞬時の電位（圧）測定器である。この使用については、使用する段階になった時説明する。

準備 4　TTL IC Quad 2input NAND に電源供給

0．まずこのＩＣ基板には電源5Vが供給されているはず。テスターでその電圧を測定してみよ。
写真図の＋lineと-(GND)lineの間を測定すればよい。
測定値［　　　　V］

＋

TOP VIEW　−

1．ＩＣのピンはそれぞれ固有目的を持つ
このICでは図のように14ピンがあり、上から見たTOP VIEWでは、ICが作動するための電源(5V)受容ピンは、7番−と14番+ピンである。
基板ではICの各ピンはソケットをとおして両側の対応する螺旋端子につながっている。ミニクリップコードを用いて+lineから14番、-(GND)lineは7番螺旋端子につなぐ。念のためにテスターでICの電源ピンの所で、その電源電圧をチェックせよ。
測定値［　　　　V］

−（4）−

本論 1 H,L ロジック (H,L logic)の認識

0．Ｈ，Ｌ信号源の確認
写真の
HS螺旋端子はH信号源
LS螺旋端子はL信号源
それぞれの信号源の電位を測定せよ。
H信号源［　　　　V］
L信号源［　　　　V］
L信号源の電位は-(GND)lineの電位と同じか?(　　　　)

TOP VIEW

1.NANDの入力・出力ピンの電位
このICでは、NANDのはたらきをする回路が4っ入っている。その回路とピンの関係も図で理解できよう。その第1の回路は、ピン番号1,2が入力、3が出力となっている。それぞれの電位を-(GND)line(7番ピン)を基準に測定せよ。
ピン番号1の電位［　　　　V］
ピン番号2の電位［　　　　V］
ピン番号3の電位［　　　　V］

−（5）−

2.入力･出力ピンのH,L判定

この測定では、入力ピン番号1,2は何もつないでいない開放状態であり、回路構成との関係からHの電位、出力ピン番号3はLの電位となっている。
入力ピン番号1,2ではこの電位
　　　　以上の時はH、出力ピン番号3ではLの時はほぼ完全に0Vになり、それ以上の中間的な電位ではHと判定してよい。

3.NAND回路のH,L動作

NAND回路で、ピン螺旋端子番号1及び2をHまたはLにしたとき、螺旋端子番号3の出力がHになるか、Lになるか。
入力端子ピン1,2にH,Lの信号源を結んで、すべてのH,Lの組み合わせに対する出力端子3のH,Lの様子を、テスターで確かめながら右表を埋める形で動作真理表として完成せよ。

入力		出力
ピンNo1	ピンNo2	ピンNo3
L	L	
L	H	
H	L	
H	H	

−（6）−

4.ANDという論理記述

「もし AがH で BもH ならば、YをH にする」
この命題は、プログラム言語BASICのコメント文として
IF A=H AND B=H Then Y=H　と書ける。
ANDというのは、A=H B=H という二つの命題が共に成り立っていることが、結果を導く条件であることを示している。
さつきの動作真理表では、入力ピン1,2のH,Lすべての状態の組み合わせ(4通り)があらわれている。
右の同じ配列の表の出力の欄に、上式のAND論理に従う結論を、次の記述を参考にしながら書き込め。

入力		出力
A	B	Y
ピンNo1	ピンNo2	AND
L	L	
L	H	
H	L	
H	H	

自然や社会の事物･現象はすべて、AであるかAではない他の総て(非A)であるか、という命題のもとに、いずれに属するかの判断が出来る。このような追究論理の繰り返しで、対象の情報量を確定してゆくのが情報理論の骨格である。
このICではHの非HはLであり非LはHである。
二つの表からNANDとは、Not Andのはたらきをする ICであることを説明せよ。
［　　　　　　　　　　　　　　　］

−（7）−

Ⅱ．NAND ICによる ゲート回路理解と その作動の観察

準備1.2現象オッシロスコープとは

オッシロスコープとは振動する電気信号を観察計測する器械である。

フラットなディスプレー面を持った静電偏向方式のブラウン管が主体である。

電気信号は、時間の経過とともにその電位が＋－に変化する。

静電偏向型ブラウン管の電子ビームがディスプレー面にスポットをむすぶ。垂直方向の偏向板に電位の変化する電気信号をプローブを通して与えると、スポットが上下に振動する。

これを水平方向に等速度で掃引すると、電気信号の波形が観察できる。

準備したオッシロスコープでは、2チャンネル(2ch)あって、2種類の電気信号を同時（的）に観察出来るようになっている。

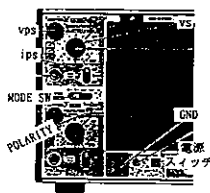
準備2.100Hz方形波(パルス)の観察

0.

オッシロスコープでは、操作パネルの左側の上半は1ch、下半は2ch、右側は時間軸などの総合コントロール用になっている。

1.ch毎使用水平掃引線・領域区分の認識。

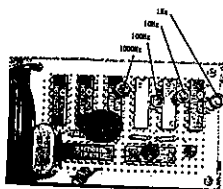
vps ips MODE SW POLARITY VS GND 電源スイッチ

左のパネル図上半は1ch用の範囲。真中ぐらいにあるMODEswをDUALにセットする。

その下のPOLARITYボタンはNORMのまま。

ipsをGNDにセットして入力信号ゼロの状態にし、次にvpsを回して水平掃引線を上下させデスプレーの上半分の中央にセット(中央横軸線より2div分上)する。

(以後デスプレーの上半を1ch用使用領域と認識)

2.ipsのスイッチをDC側に倒し、1ch用プローブ(その先端ノブは×10のまま)を水晶基準パ

ルス信号発生基板の100Hzの螺旋端子につなぐ。この時vsスイッチを0.2/divに選んでおく(プローブの×10で2V/divになる)。

3.右側パネルの時間軸選択のSW(ts)を10ms/divにセットする。

ディスプレー幅10divでは10ms×10=100ms=0.1sである。

＊掃引線の左端が目盛線と一致しないときはPOSITIONツマミの黒を廻す。

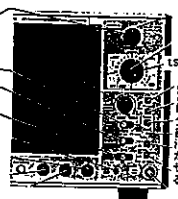
＊SWEEP MODE はAUTOにしておく。

＊COUPLINGはAC(EXIT DC)にする。

＊XMODE は必要に応じてCH1 OR CH2を選ぶ。(掃引開始の固定)CH1にする。

ts　黒tsは全部浮かせる

4.以上の操作でディスプレーの上半に、10ケのパルス波形が観察出来る筈である。

[微調整]

a)波形をデイスプレー目盛の左端から描かせるには、右側操作パネルのPOSITIONツマミを回して位置調整。

b)vs, tsには赤色の(バーニヤ)ツマミがあるが、時計廻りに回し切っておくと、その数値通りの値が保てる。

c)パルスの上端がディスプレーからハミだすときは、vpsツマミをまわして水平lineを少し下にさげる。

準備3.低周波発振器の波形観察

0.オッシロスコープの2ch調整。準備2.の時の1chと同様に、2chのGNDレベルを下半の中央(中央ラインから2div)下にくるようにし、vsスイッチも同じ0.2div(プローブ×10)にセットする。トータル2v/div。

1.低周波発振器は×1, ×10, ×100, ×1000の4段階の切り替えSW1で、20Hz~200kHzの範囲のサインカーブや方形波(SW2で切り替え)を、ダイヤルを回すことで発生する。

2.ダイヤルを約600Hzに合わせて、その出力の赤端子のついたクリップコードに、2chのプローブの先端をつなぐ。

AUDIOGENERATORを良く見る

＊AUDIO GENERATOR の OUTPUT調整 VOLTAGEツマミは3 VOLTAGE MULTIは×1 に セットする。

3.時間軸スイッチtsを切り替えて1ms/divの位置に移す。デイスプレーは10divの幅だから10ms≒0.01秒間の掃引をくりかえす。

4.600Hzのサインカーブや方形波を、観察する。

オッシロスコープ　OSCの X-MODE SWをCH2に倒して波形測定。

波形と波の数を下にスケッチせよ。

[

]

単組4.サインカーブ波形のパルス化

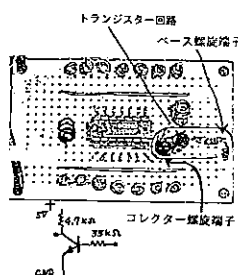
600Hzのサインカーブの波形から600Hzパルス波形をつくるには、NAND回路基板のトランジスター回路のベースの螺旋端子に入力し、コレクターの螺旋端子に、オッシロスコープの2ch用入力プローブをつないで、その観察波形をスケッチせよ。

[

]

本論 NAND回路の作動予測

0.NAND回路の入力ピン2をLに固定したままで、入力ピン1をH,L変化をさせる。

出力ピン3のNANDを考察し右表に書き込め。

入力		出力
ピンNo1	ピンNo2	NAND
L	L	
H	L	
L	L	
H	L	

1.NAND回路の入力ピン2をHに固定したままで、入力ピン1をH,L変化をさせる。

出力ピン3のNANDを考察し右表に書き込め。

入力		出力
ピンNo1	ピンNo2	NAND
L	H	
H	H	
L	H	
H	H	

－(12)－

2.0と1の出力を比較して、そのはたらきにつき説明せよ。

[

]

3.パルス波形の論理的結合の様子を、タイミングチャートとしてグラフ化する。

下図は0,1の場合について、入力ピン1,2のタイミングチャートを記入したものa),b)である。a),b)のそれぞれについて出力ピン3でのタイミングチャートを記入せよ。

－(13)－

4.NAND回路は、次の3つの作動期待が出来る。どのような回路結線で実現できるか。

Q] 1つのNAND回路でピン1に、常時HLと変化するパルス波形を入力し、ピン3に下記の出力を期待する時、ピン2にはどのような電気信号を与えればよいか。

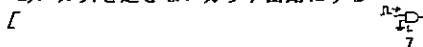
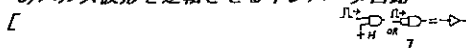
a)パルスを通さないカット回路にする

[

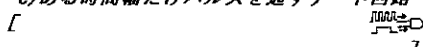
]

b)パルス波形を逆転させるインバータ回路

[

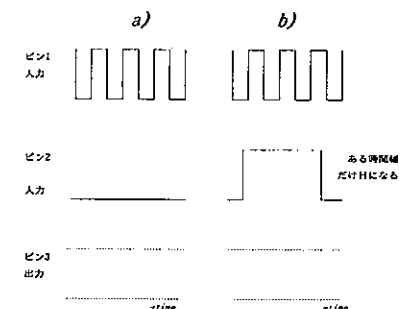
]

c)ある時間幅だけパルスを通すゲート回路

[

]

5.ゲート回路を実際結線して観察し、次の事項について報告せよ。

O_1 100Hz方形波の1ch像を観察スケッチしなさい。Hである時間は何秒間か。100Hzの振動周期の何分の1か。

[　　　　　　　　　　　　　　　　　　　]

－(14)－

O_2 トランジスターのコレクター螺旋端子からNAND回路のピン1に結んで、パルス化した600Hzを入力する。ピン2をHS螺旋端子に結んでHとし、2ch用プローブをピン1・ピン3に触れて、入力・出力波形を比較観察・スケッチして、その正逆や1ch波形との関係を説明しなさい。

[

]

ピン2をピン1に結んだ時も同じことになる＝インバーターと呼ぶ。

O_3 トランジスターのコレクター螺旋端子からNAND回路のピン1に結んで、パルス化した600Hzを入力する。ピン2には水晶発振基板から100Hz方形波を入力する。

2ch用プローブをピン3に結んで、出力波形を観察・スケッチして、1ch波形との関係を説明しなさい。

[

]

ゲート回路の作動

－(15)－